

Mise en place d'un système d'information à références spatiales sur un ensemble « bassin versant-zone côtière » en appui à un projet de recherche

Françoise Vernier^a, Gilles Trut^b, Danièle Maurer^b et Isabelle Auby^b

Ce travail a été exposé lors du séminaire du réseau REGLIS
« Mise en place de systèmes d'information à références spatiales » (Cemagref, 2004).

Dans un écosystème aussi complexe que le Bassin d'Arcachon, la connaissance des mécanismes de transfert des flux de nutriments est indispensable pour comprendre les phénomènes de prolifération comme celui de macroalgues. La méthodologie exposée ici s'appuie sur un système d'information permettant l'intégration de connaissances et la mise en cohérence de données recueillies par différentes équipes et devant être capable d'échanger des données hydrologiques maritimes et terrestres.

Le projet de recherche LITEAU (encadré 1), à l'origine de la mise en place du SIRS¹, s'est donné comme objectif de contribuer à la conservation de l'écosystème du bassin d'Arcachon, notamment de l'herbier de zostères (*Zostera noltii*), et de mieux comprendre le problème des proliférations macroalgales (*Monostroma obscurum*) apparues depuis 1990 (Manaud *et al.*, 1997). Ce souci de conservation des herbiers de zostères et de garantir une productivité phytoplanctonique capable de soutenir une activité ostréicole durable, requiert une évaluation des variations d'apports en nutriments sur les communautés des producteurs primaires majeurs.

Les interactions entre producteurs primaires sont fortement déterminées par les quantités de sels nutritifs qui entrent dans la lagune ainsi que par

leur répartition spatiale (De Wit *et al.*, 2003). La limitation du développement des macroalgues passe donc par une meilleure gestion du bassin et de son bassin versant, où deux activités économiques – l'agriculture et la sylviculture – prédominent, chacune produisant des flux de nutriments bien différenciés tant en quantité qu'en nature (azote minéral/organique) (Vernier *et al.*, 2003 ; Leibreich *et al.*, 2000). Le partenariat entre le Cemagref, l'université Bordeaux I, le CNRS et l'Ifremer a permis une approche pluridisciplinaire selon le concept de « continuum aquatique » associant les zones terrestres et la zone côtière (De Wit *et al.*, 2003).

La réalisation d'un SIRS permettant la mise en commun des données déjà acquises par les équipes et la confrontation pertinente de ces données a été identifiée comme une tâche à part entière

1. Système d'information à références spatiales.

Encadré 1

Le programme de recherche sur la gestion durable du littoral (LITEAU), initié par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, fait partie depuis 1998 du dispositif national de recherche sur le milieu marin, en complétant en particulier le programme national d'environnement côtier (PNEC). La caractéristique essentielle de LITEAU est d'être un programme de recherche finalisée dont les objectifs et la problématique, définis dans les appels à propositions, sont basés sur les besoins des gestionnaires du littoral. Il vise en outre à consolider le volet opérationnel du PNEC, en permettant de prolonger à l'usage des gestionnaires des actions de recherche en cours sur le fonctionnement (ou dysfonctionnement) des zones côtières et de développer des outils de gestion. Après une première phase (LITEAU I) lancée en juillet 1998, le programme est entré en 2003 dans une deuxième phase (LITEAU II), avec un appel à propositions de recherche comprenant trois volets : la restauration des milieux altérés, la Directive cadre européenne sur l'eau et la gestion intégrée des zones côtières.

Les contacts

^aCemagref, UR Agriculture et dynamique de l'espace rural, 50 avenue de Verdun, BP 3, 33612 Cestas Cedex
^bIfremer, Station d'Arcachon, Quai du commandant Silhouette, 33120 Arcachon

du projet de recherche. L'objectif de ce système d'information est notamment de pouvoir réaliser des calculs de bilans massiques aux échelles spatiales et temporelles pertinentes à partir d'un travail d'intégration des connaissances.

La démarche adoptée

L'implantation d'un système d'information doit s'intégrer dans une démarche plus large d'analyse des objectifs du système et des besoins pour éviter l'écueil du SIRS « alibi » d'une meilleure efficacité mais sans véritable utilité (Pornon, 1996).

Dans le cadre de ce projet, le système a dû prendre en compte les données géographiques et thématiques acquises par les équipes de recherche à des pas de temps et des échelles très variées, les confronter, les combiner de manière à pouvoir produire des indicateurs et des bilans pertinents par rapport à la problématique de recherche. Le système à construire devait également pouvoir échanger des données (en entrée et en sortie) avec un modèle hydrologique en cours de mise au point au Cemagref (Geriqueau) et certains modèles développés à l'Ifremer (dispersion des flux, production primaire dans le bassin d'Arcachon).

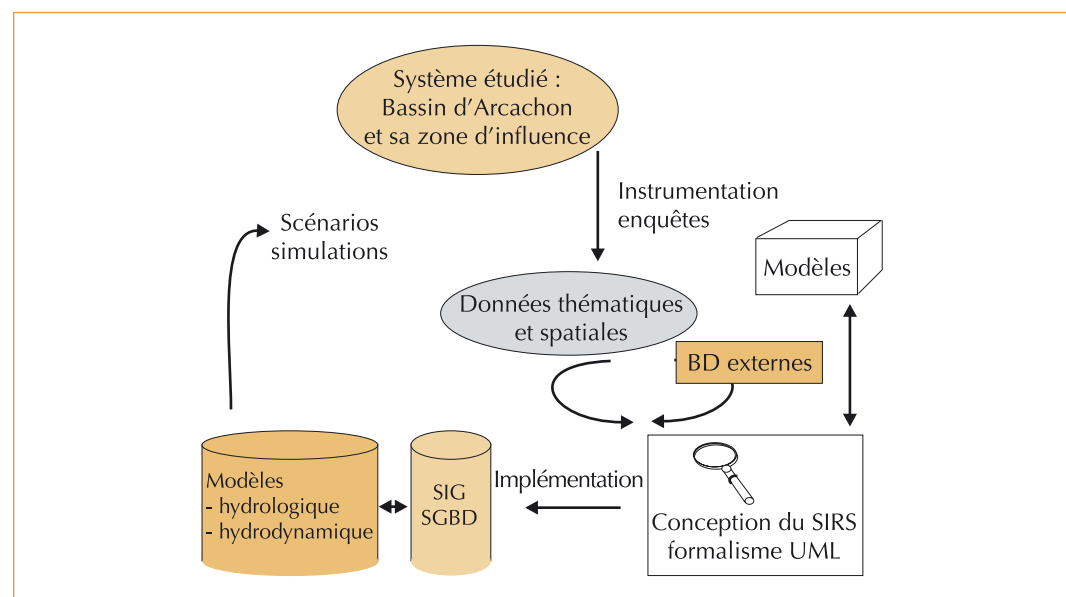
Bien que l'ensemble des équipes ait à s'impliquer dans la mise en place du système, la nécessité de travailler de manière conjointe et approfondie a conduit à la mise en place d'un groupe de projet (4 personnes) chargé de piloter la mise en œuvre

du système, de dialoguer avec les utilisateurs et le comité de pilotage du projet de recherche. Les utilisateurs du SIRS sont ici les chercheurs, mais la méthodologie mise en œuvre pour la construction du SIRS peut également être utile aux gestionnaires ou aux aménageurs impliqués dans une démarche de gestion intégrée des zones côtières.

En effet, de nombreuses démarches de ce type tentent actuellement de se mettre en place. En raison des liens d'interdépendance amont/aval, tant au niveau des milieux que des activités humaines, il devient indispensable pour les décideurs de disposer d'une vision globale et cohérente terre/mer. Les différentes approches prenant en compte les paramètres environnementaux, socio-économiques, les usages, les réglementations... doivent pouvoir être confrontées au sein d'un même système d'information. Les concepts et les outils SIG/SIRS sont susceptibles d'apporter une contribution intéressante dans ce domaine tant pour la gestion de l'information géoréférencée que pour l'analyse des relations spatiales et la mise en place d'approches intégrées.

La démarche suivie dans ce projet a combiné l'expertise des équipes et une méthode de mise en place d'un système d'information (figure 1) calqué au départ sur une méthode type Merise, avec les étapes suivantes :

- inventaire de l'information spatialisée et thématique gérée par les différentes équipes, analyse des besoins,



► Figure 1 – Schéma général de la démarche.

- choix des échelles et objets spatiaux pertinents,
- analyse conceptuelle des données et traitements (formalisme UML),
- étude du couplage avec les modèles externes,
- réalisation d'une maquette sous ArcView® et Microsoft Access®,
- mise en cohérence des données des équipes avec le modèle des données,
- implémentation de la base.

Une validation par les équipes de recherche est intervenue entre chaque étape.

L'inventaire des données et l'analyse des besoins

La phase d'analyse des besoins auprès des équipes de recherche et d'inventaire des données existantes, qu'elles soient thématiques ou spatiales, est indispensable et doit précéder la modélisation du système d'information. Elle implique de recenser toutes les sources externes de données (bases de données publiques ou privées, existence d'études spécifiques, travaux antérieurs). Si certains guides méthodologiques existent concernant des aspects spécifiques de la gestion des zones côtières (Henocque *et al.*, 1997) ou des bassins versants (Vernier *et al.*, 2001), ils ne traitent pas du problème spécifique de qualité d'eau côtière en relation avec des flux de nutriments dus aux pollutions diffuses, dans une approche intégrée.

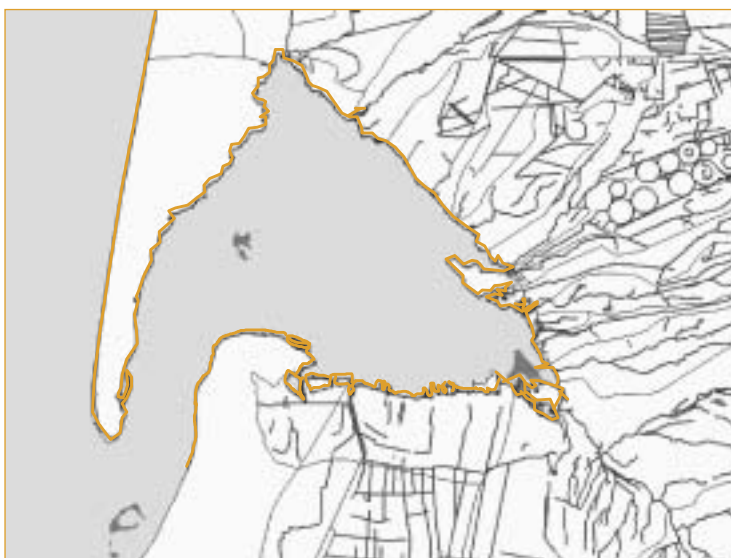
Au démarrage du projet, les données géographiques stockées au Cemagref sur la zone d'influence du Bassin d'Arcachon et celles disponibles à l'Ifremer différaient par leur échelle d'origine et leur référentiel : Lambert II, Mercator, Lambert III selon les cas. Entre données terrestres et marines, les logiques d'acquisition et d'utilisation des données, les acteurs ne sont pas les mêmes et rendent délicate la superposition des données ; certaines limites demeurent ambiguës, comme la laisse de pleine mer et la limite de basse mer. Ainsi le trait de côte détenu par les différents partenaires du projet ne correspondait pas, il a fallu également localiser les points d'apport à la lagune par les différents tributaires. Les contours du bassin étaient gérés à une échelle plus fine par l'Ifremer. En revanche, le Cemagref détenait une occupation du sol actualisée sur la zone d'influence amont (par traitement d'images) ainsi que des données

résultant d'études antérieures sur cette même zone. De toutes ces informations, il a donc fallu extraire les plus précises et pertinentes pour la question traitée, et les mettre en commun.

Un travail d'inventaire a permis d'établir un catalogue des données géographiques précisant la date d'acquisition, la source des données, l'échelle d'origine, le référentiel, le gestionnaire de l'information. Tous ces éléments peuvent être saisis comme des métadonnées dans les versions actuelles des logiciels SIG. Suite à cette première étape, la mise en correspondance des bases de données du Cemagref et de l'Ifremer posait le problème de l'appariement (Sheeren, 2002), de la mise en correspondance ou de la fusion de données de différentes sources dans la perspective d'une utilisation plus large. Nous nous sommes contentés dans le cadre de ce projet d'analyser les spécifications de chacune des bases et d'évaluer la compatibilité géométrique et sémantique de l'information détenue par chaque organisme. Le résultat obtenu suite à cette analyse a été la création de nouvelles couches d'information validées dans un référentiel commun (figure 2). La base de données spatialisée commune comprend un trait de côte validé à une échelle spatiale commune, les exutoires des bassins versants coïncident avec les points d'apport à la lagune, les cours d'eau prennent en compte les fluctuations des contours de la zone marine.

En ce qui concerne les données thématiques, l'analyse de l'existant a permis de collecter les informations détenues par les équipes,

▼ Figure 2 – La définition du trait de côte après la mise en cohérence des couches d'information issues d'échelles et de référentiels différents.



leur mode et fréquence d'acquisition, leur support, leur fréquence de mise à jour, leur disponibilité. Les entretiens avec les équipes de recherche ont permis d'aboutir à la mise en place d'un dictionnaire des données mais aussi d'aborder les problèmes de fond : de quelles données a-t-on besoin pour répondre à la question de recherche ? Ces données existent-elles ? Ou restent-elles à acquérir ? Enfin, cet inventaire a permis d'impliquer les équipes dans le processus de mise en place du système d'information et de les convaincre de :

- la nécessité de définir une sémantique commune et précise (qu'est-ce qu'un point d'apport, une campagne, un débit, un point de mesure....) alors que ces notions sont implicites dans des équipes très spécialisées ;

- ne pas agréger des bases de données déjà existantes dans les équipes (base hydrologique ou piézométrique à pas de temps très fin, par exemple), mais réfléchir quelles informations issues de ces bases doivent être mises en commun : ce sont celles qui sont pertinentes pour la question de recherche ;

- ne pas sous-estimer le travail nécessaire pour « traduire » ces données, qui peut être non négligeable : changement de format, d'algorithmes, agrégation à des pas de temps différents... ce qui peut nécessiter de traiter des fichiers de grande taille ou des chroniques de données importantes. Il faut alors que l'« utilisateur » soit convaincu de l'utilité de réaliser ce traitement de données.

Les premières réunions de validation ont permis à chacun de mieux appréhender la diversité des sources de données existantes et de réfléchir sur les méthodes à employer pour les confronter de manière pertinente : à quelle échelle spatiale ? À quelle échelle temporelle ? Elles ont permis de réaliser les difficultés d'intégration dans le système d'information de certains résultats qui procèdent de la compréhension des processus (par exemple le rôle des zones humides ou encore le phénomène de dénitrification dans la nappe) sans qu'on soit capable de les quantifier. Dans l'état actuel des connaissances, ce ne sont que des éléments explicatifs ou de compréhension des phénomènes qui ne peuvent qu'aider à interpréter les résultats sans être intégrés dans les modèles. Ces données peuvent être spatialisées (c'est le cas des zones humides), mais elles ne peuvent être intégrées dans un calcul d'indicateur ou de bilan. Enfin, dans ce contexte, cas d'un SIRS développé en appui à la recherche,

des difficultés supplémentaires apparaissent : certaines données ou résultats ne seront acquis qu'en cours de programme, les modèles sont encore en cours de développement lors de l'analyse du système d'information. Des modifications significatives peuvent intervenir en cours de projet. Le système d'information doit donc être conçu comme évolutif et modulaire pour prendre en compte les inflexions apportées en cours de programme.

Choix des échelles de travail et des objets spatiaux pertinents

Lors de la mise en place d'un SIRS, l'inventaire et les premières analyses des besoins réalisés doivent permettre d'avancer suffisamment la réflexion pour aboutir aux choix d'échelles et d'objets spatiaux pertinents pour le problème posé.

Le choix de l'échelle de travail doit prendre en considération à la fois les unités administratives de gestion auxquelles est subordonnée l'acquisition de certaines données, ainsi que les enjeux environnementaux identifiés. Ces derniers correspondent à des processus biogéochimiques qui échappent à toute délimitation administrative. On parlera **d'unité fonctionnelle** pour désigner le sous-système (hydrologie, hydrogéologie) dans lequel ces processus peuvent être individualisés et auquel on se ramènera pour déterminer par la suite une unité cohérente de gestion ou d'intervention. Le Bassin d'Arcachon a été ainsi découpé en trois **sous-zones** en fonction de la circulation de l'eau (Manaud *et al.*, 1997). L'une des zones est sous influence des apports provenant du Cirès et du Canal des étangs, l'autre de la Leyre et des autres tributaires, enfin la troisième zone est sous influence marine et reçoit les eaux des deux autres zones (figure 3). Ce découpage s'appuie sur les études conduites par l'Ifremer sur la vitesse et la distribution des courants de marée, et le renouvellement des eaux dans le bassin (Salomon et Breton, 1993 ; Manaud *et al.*, 1997).

À l'échelle d'un grand bassin versant comme la zone d'influence du Bassin d'Arcachon (300 000 ha), les données disponibles sont des données statistiques ou obtenues à petite échelle géographique (données issues de la télédétection pour l'occupation du sol, par exemple). Elles n'ont pas la même signification que des données mesurées, exhaustives ou échantillonnées comme on peut en obtenir à l'échelle de parcelles, d'exploitations ou de petits bassins expérimentaux. La description des activités agricoles amont (systèmes de production, pratiques agricoles)

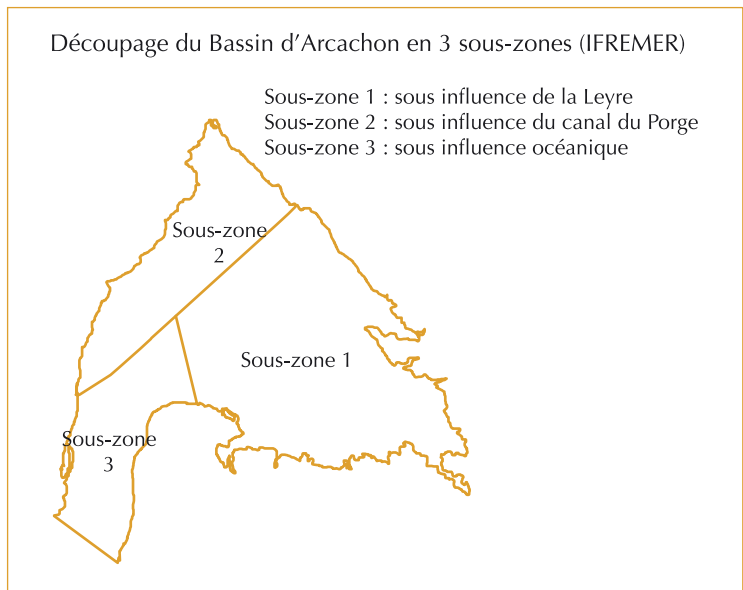
ne peut donc être envisagée que sous forme de typologie. Il en va de même pour les autres activités humaines présentes (activités forestières, élevages). À côté des données « brutes », résultats de mesures effectuées sur le terrain, cohabitent donc des résultats de typologies ou des indices calculés dont il faut préciser le domaine de validité et d'utilisation.

Le projet LITEAU s'est intéressé particulièrement à la production et au devenir des flux d'azote arrivant dans le Bassin d'Arcachon *via* le réseau hydrographique : l'unité fonctionnelle retenue pour le bassin versant est donc **l'unité hydrographique** où sont générés les flux de nutriments. Ces unités hydrographiques sont regroupées en secteur. À chaque secteur correspond un point d'apport au bassin (figure 4). Le système est ainsi décrit complètement, dans sa continuité et permet de modéliser la génération et le transit des flux de nutriments *via* les eaux superficielles des sous-bassins versants amont à la lagune.

Les unités fonctionnelles choisies constituent les objets de référence et il a fallu s'astreindre à ce que toutes les données y soient rattachées, mais cette affectation peut s'avérer difficile. En effet, ces unités fonctionnelles se réfèrent à des limites naturelles et non administratives. De ce fait, il n'est pas possible d'utiliser en l'état des données statistiques (statistiques agricoles ou forestières) à l'échelle de l'unité fonctionnelle choisie – à savoir pour la partie territoire, l'unité hydrographique, sans faire appel à des techniques d'agrégation ou de désagrégation de données.

Deux échelles de travail ont été privilégiées : le 1/250 000 pour les données acquises ou existantes à petite échelle et les interfaces avec les modèles, le 1/50 000 pour les données acquises sur les zones « zoom ». La mise en cohérence des données a nécessité dans certains cas des numérisations complémentaires (trait côtier, localisation des points d'apport...). La coexistence de ces différents niveaux d'échelle dans le système doit être prise en compte lors de la mise en place des requêtes : il faut veiller à ne pas utiliser ou confronter des données ou des résultats qui ne sont pas valides à la même échelle géographique, y compris par des blocages logiciels (paramétrables dans les logiciels SIG ArcView® ou ArcGis®).

La définition des échelles de temps implique aussi un consensus des équipes : certaines données ont été acquises à des pas de temps journalier ou hebdomadaire ; dans d'autres cas, les mesures sont annuelles : campagne ponctuelle de mesures,

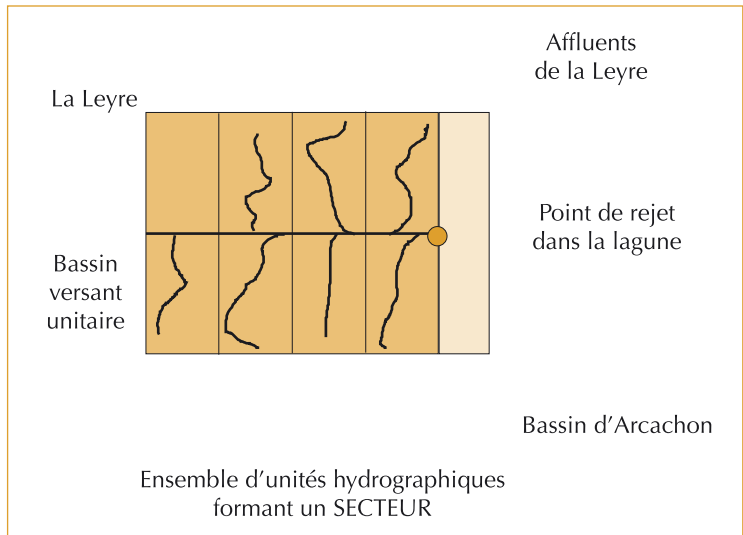


données collectées sur une campagne agricole... Pour le système d'information LITEAU, c'est un pas de temps mensuel qui a été choisi comme référence, affiné à la quinzaine selon la précision des différentes sources de données à confronter. Cependant, pour certaines couches d'information, le pas de temps est resté annuel faute de données mensuelles existantes (algues, végétation dans la lagune) ou parce que l'année est le pas de temps adéquat (occupation du sol par exemple).

▲ Figure 3 – Découpage du Bassin d'Arcachon en trois sous-zones (unités fonctionnelles).

Les échanges entre équipes ont fait émerger l'importance de la notion de saisonnalité, en l'occurrence hiverno-printanière : la période à laquelle

▼ Figure 4 – Découpage de la zone d'influence en unités fonctionnelles.



les flux d'azote arrivent au Bassin d'Arcachon par le réseau hydrographique influence de façon majeure le devenir de ces flux dans la lagune et leur utilisation par les producteurs primaires. Ainsi, un flux d'azote conséquent arrivant à la lagune au printemps peut avoir des conséquences plus importantes qu'un flux similaire hivernal (De Wit *et al.*, 2005). Cependant cette notion est difficile à concrétiser en termes de gestion des données : agrégation sur des périodes dont il faudra définir les bornes, difficultés pour désagréguer des données annuelles en deux valeurs « saisonnières » par exemple.

La mise en place du SIRS : les outils utilisés

Le modèle des données peut être décrit lorsque l'analyse de l'existant, le choix des échelles et des objets ont été réalisés. Nous avons choisi d'utiliser le formalisme UML (encadré 2) qui présente l'avantage de permettre la modélisation complète de l'application :

- dans sa composante statique, en modélisant la structuration des données à l'aide des diagrammes de classes (quels sont les objets manipulés et les relations entre ces objets ?) ;

- dans sa composante dynamique, en décrivant la communication et la coopération entre les objets.

Le logiciel utilisé au Cemagref (Objecteering de Softeam) a permis de gérer facilement la documentation qui est mise à jour en fonction des modifications apportées et générée à la demande. Ceci a été particulièrement utile dans le cadre d'un projet de recherche où le groupe de projet restreint disposait de peu de temps pour la logistique. À chaque étape ou modification importante, une validation des équipes impliquées s'imposait. Elle a été grandement facilitée par la sortie automatisée d'un document « à jour ».

Nous avons choisi de réaliser l'implémentation du système en utilisant un logiciel SIG (ArcView®) et un logiciel de SGBD³ (Access®) dont les équipes partenaires du projet étaient déjà équipées et dont

elles maîtrisaient l'utilisation. Dans ce contexte, il a été possible de « traduire » le modèle décrit en langage de bases de données relationnelles (SQL)³. Le gain de temps a été important même si une partie des opérations a dû être effectuée manuellement (requêtes, liaisons avec les modèles).

Mise en place du SIRS : modélisation à l'aide du formalisme UML

L'inventaire des données s'affine avec la conceptualisation des objets et de leurs relations au sein du modèle des données. À ce stade, la disponibilité des données, leur facilité d'acquisition et de mise à jour sont prises en compte. Le travail conduit en partenariat avec l'Ifremer a permis de proposer aux équipes de recherche une structuration des données en modules :

- module « bassin » : données sur la lagune, végétation, algues, mesures de qualité des eaux marines ;

- module « hydrologie » : unités hydrographiques et secteurs, données hydrologiques et de qualité sur les cours d'eau superficielles tributaires du Bassin d'Arcachon, flux de nutriments estimés, mesurés, modélisés ;

- module « activités humaines » : données sur les pratiques agricoles, forestières, indicateurs de pression azotée ;

- module « territoire » : caractéristiques physiques, écologiques, occupation du sol ;

- module « découpage administratif » : unités administratives, mesures incitatives ou réglementaires, données statistiques ;

- module spécifique pour le couplage avec les modèles : interface entrée/sortie.

Dans la phase d'analyse, de nombreux allers-retours avec les utilisateurs ont été nécessaires. Le formalisme UML a dû être assimilé par les équipes de recherche pour pouvoir discuter du modèle et le valider : il est conseillé de prévoir une formation de base des équipes impliquées, faute de quoi les discussions peuvent s'enliser par incompréhension

Encadré 2

Le formalisme UML

UML (*Unified Modeling Language*), que l'on peut traduire par « langage de modélisation unifié » est une notation permettant de modéliser un problème de façon standard. La modélisation objet consiste à créer une représentation informatique des éléments du monde réel auxquels on s'intéresse, sans se préoccuper de l'implémentation, ce qui signifie indépendamment d'un langage de programmation.

2. Système de gestion de bases de données.

3. Module SQL de l'Atelier de Génie Logiciel Objecteering de Softeam.

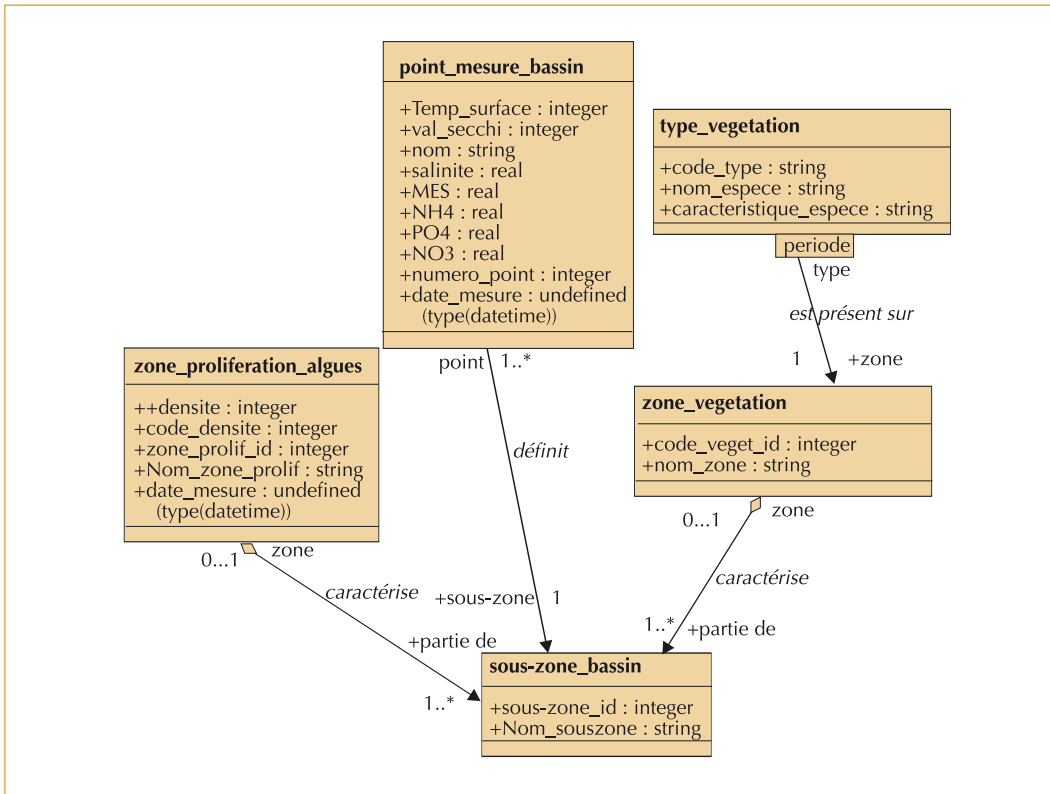


Figure 5 – Diagramme statique du module « Bassin ».

des questions posées et des représentations produites. Dans cette phase du projet, chaque module a été décrit avec tous ses objets et ses relations (figure 5). Chaque objet est accompagné d'une définition complète validé par l'ensemble des partenaires impliqués et consultable en ligne.

Les objets ou classes sont reliés entre eux par des relations, elles-mêmes porteuses le cas échéant d'attributs. Ces relations portent des cardinalités (0, 1, n ou *) qui indiquent le type de relation entre les objets : un à un, un à plusieurs, plusieurs à plusieurs (figure 6).

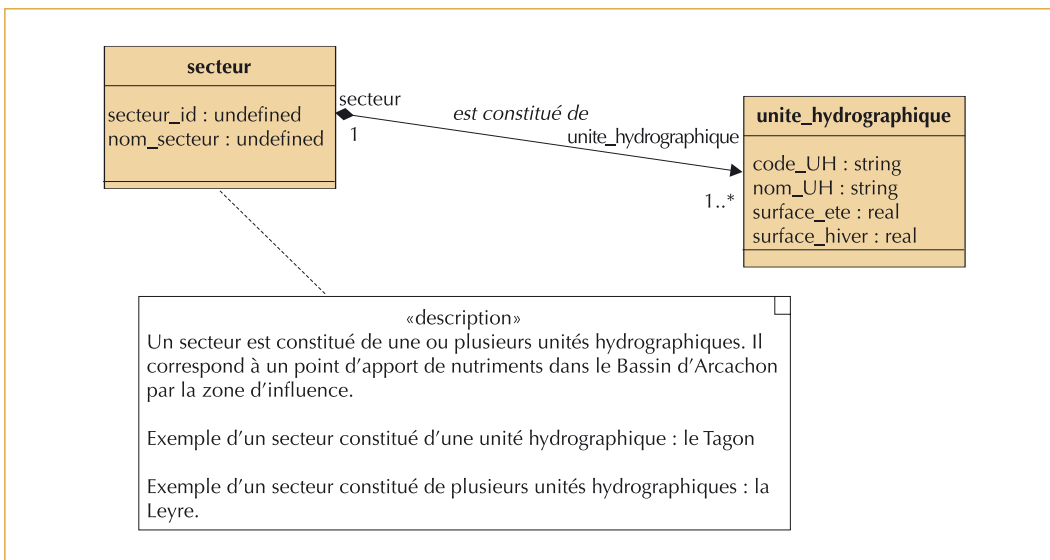


Figure 6 – Exemple de la relation secteur-unité hydrographique : un secteur est constitué de une ou de plusieurs unités hydrographiques (relation 1, n).

Les objets qui composent la base de données et leurs relations analysés, il faut alors décrire l'ensemble des cas d'utilisation de la base en construction, les acteurs impliqués et les opérations qui composent chaque cas d'utilisation. Ces opérations peuvent être de plusieurs natures :

- sélectionner selon des critères thématiques ou spatiaux : quelles sont les pratiques agricoles des agriculteurs présents sur les unités hydrographiques qui influencent la sous-zone numéro 1 ? Détermination d'une période de temps où des données sont présentes à la fois sur la lagune et sur la zone d'influence, etc. ;

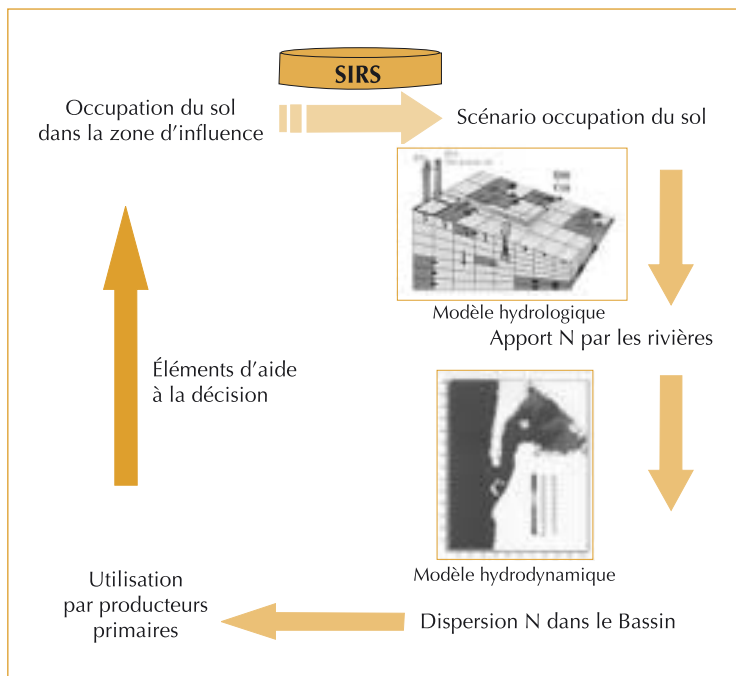
- mettre à jour la base en fonction de nouveaux résultats acquis ou mis en forme par les équipes (exemple mise à jour de ces pratiques en fonction de la dernière enquête annuelle) ;

- effectuer des calculs à partir de données présentes dans le système pour produire des données agrégées ou des indicateurs...

In fine, la mise en œuvre d'une chaîne précise d'opérations doit conduire à la production des bilans massiques recherchés.

Le module « interface avec les modèles » avait pour objectif de s'interfacer avec les modèles développés dans le cadre de ce projet :

▼ Figure 7 – Couplage SIRS-modèle hydrologique et de dispersion des flux dans la lagune.



- le modèle hydrologique (Geriqueau) développé au Cemagref pour modéliser le transfert des flux de nitrates produits par les bassins versants vers les eaux de la lagune ;

- le modèle de fonctionnement hydrodynamique de la lagune (MARS) développé à l'Ifremer pour modéliser la dispersion de ces flux de nitrates dans la lagune et leur utilisation par les producteurs primaires.

Pour s'interfacer avec ces modèles, le module « interface » du SIRS LITEAU doit mettre en forme automatiquement un fichier des paramètres d'entrée qui prenne en compte le pas de temps et la maille du modèle. Les données identifiées comme étant pertinentes en entrée du modèle (exemple : type de sol, occupation du sol... pour le modèle hydrologique) sont à agréger à l'échelle de la maille choisie et avec un mode de calcul validé par le développeur du modèle. D'autre part, le module « interface » du SIRS doit en retour récupérer les paramètres de sortie du modèle après passage de simulation et les intégrer dans le SIRS comme des « données simulées ».

Ainsi, dans le système d'information, au côté des valeurs des flux de nitrates réellement mesurés dans le milieu, coexistent les valeurs des flux estimés à partir des standards de production des bassins versants selon leur occupation du sol et des flux modélisés par le modèle hydrologique.

À terme, l'intérêt est de pouvoir simuler des scénarios d'occupation du sol, de calculer en fonction de cette occupation du sol des paramètres en entrée du modèle hydrologique puis de récupérer en sortie de ce modèle des flux d'azote simulés, apportés par les cours d'eau à la lagune ; ces flux simulés peuvent à leur tour être utilisés comme paramètres d'entrée du modèle de fonctionnement hydrodynamique de l'Ifremer pour évaluer leur devenir dans la lagune et leur impact possible sur les producteurs primaires (figure 7).

Mise en place du SIRS : réalisation d'une maquette à partir d'un jeu de données partiel

La réalité de l'équipement informatique et des compétences des équipes de recherche a conduit à une traduction du modèle vers une base de données relationnelle classique et non vers une base orientée objet. Dans ce cas, la modélisation objet pourrait être reprise telle que décrite dans le modèle UML sans traduction vers la structure relationnelle.

La génération de la base de données Access® peut se faire en partie automatiquement à l'aide d'un AGL (atelier de génie logiciel) et d'un module développé par Access®⁴. Chaque objet et relation décrit donne lieu à la génération de langage SQL⁵ qui permet la création des tables associées. La traduction du modèle prend en compte les classes, les attributs, les associations et les héritages. Les associations sont traduites selon le sens de navigation décrit dans le modèle et génèrent ou non des tables Access® selon le cas :

- pour les associations de cardinalité 1, il y a ajout d'une clef dans la table d'où part l'association ;
- pour les associations de cardinalité n, chaque classe donne lieu à la création d'une table et l'association donne lieu à la création d'une table supplémentaire en jointure.

Le schéma relationnel Access® inclut des tables liées qui sont les tables attributaires des couches d'informations spatiales. Ces tables liées assurent la cohérence entre les tables attributaires des couches d'information géographique et les tables thématiques Access®.

La maquette a été réalisée à partir d'un jeu de données sur 2 années (1992 et 1993) où un maxi-

mum de données était disponible. L'objectif était d'illustrer les possibilités de croisement et d'agrégation de données, de requêtes thématiques et spatiales qui pourraient être utiles au projet LITEAU. Avec cette structuration des données, il est possible d'identifier rapidement les périodes temporelles les plus pertinentes pour une validation des hypothèses, celles où l'on dispose des données utiles par rapport à une sélection de critères thématiques ou géographiques, par exemple, à quelle période dispose-t-on du plus grand nombre de mesures sur les blooms algaux dans telle sous-zone et des données hydrologiques les plus complètes sur les cours d'eau du secteur correspondant ? Cette période peut alors être choisie pour valider une hypothèse de saisonnalité (arrivée des flux d'azote à la période la plus propice en termes d'opportunités de production).

Un autre exemple d'utilisation du système est d'exécuter une requête spatiale sur la partie lagune (à partir de données de surveillance des eaux marines) pour « remonter » aux bassins versants amont influençant cette zone, et y analyser les unités hydrographiques en cause sur des critères thématiques (figure 8). La démarche inverse est possible en analysant les flux de nitrates

4. Logiciel utilisé : Objecteering de Sof-team – module SQL.
5. Le langage SQL (*Structured Query Language*) peut être considéré comme un langage d'accès normalisé aux bases de données. Il est aujourd'hui intégré à de nombreux produits commerciaux tels Access®, Oracle®... Il répond à plusieurs normes ANSI/ISO.

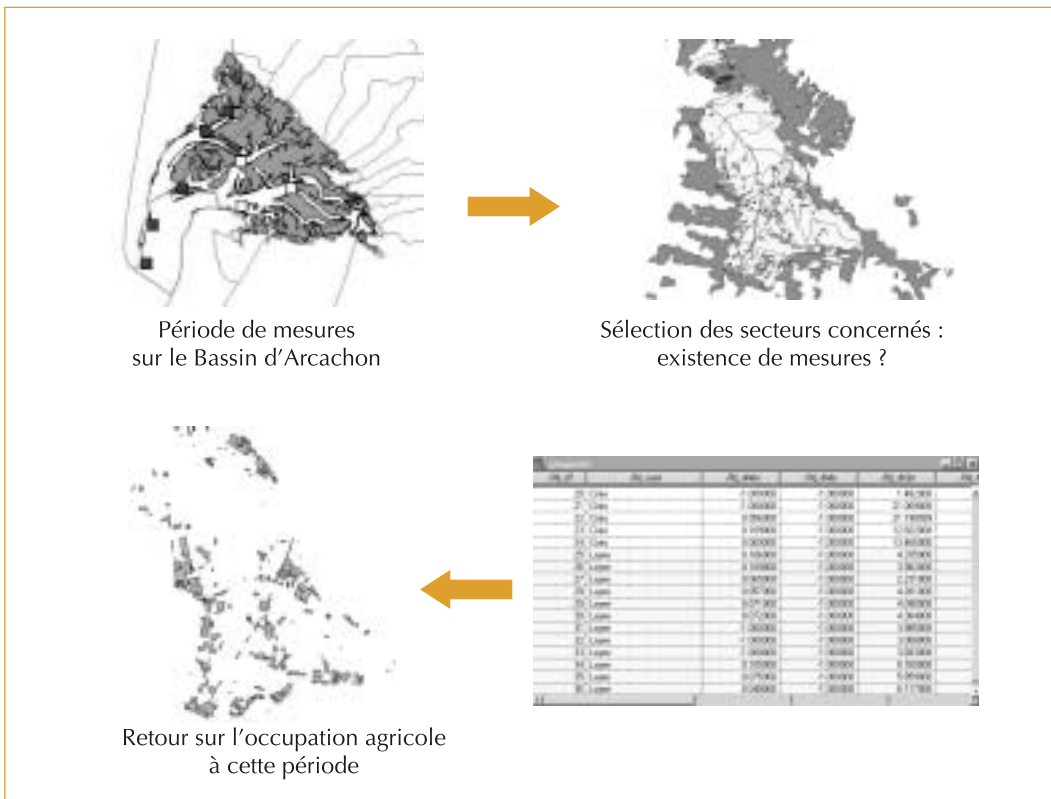


Figure 8 – Exemple de requête thématique et spatiale sur le jeu d'essai.

6. ELOISE est un réseau thématique consacré à la recherche sur les zones côtières, financé par la Commission européenne dans le cadre de son programme Environnement et Développement durable. Son objectif principal est de permettre une synthèse des différents aspects de la gestion des zones côtières dans différentes disciplines des sciences naturelles et socio-économique.

mesurés ou simulés sur un secteur donné, puis en confrontant les résultats de cette analyse aux mesures effectuées dans la lagune sur la même période temporelle.

La difficulté restante est de pouvoir gérer les séries temporelles, notamment pour les couches géographiques (occupation du sol, végétation dans le bassin, présence d'algues, etc.). L'aiguillage n'est pas implicite et doit donc être programmé pour pouvoir réaliser le traitement adéquat et afficher le résultat : c'est actuellement une limite dans la souplesse d'utilisation du SIRS.

Conclusions – Perspectives

Les problèmes de pollution diffuse à l'échelle de bassins versants et des zones côtières associées sont abordés dans les régions par l'ensemble des acteurs de terrain, services de l'État, collectivités locales, organisations professionnelles. Il apparaît très vite utile aux acteurs de stocker les nombreuses données existantes ou acquises sous une forme informatique, souvent un SIG, avec un objectif d'aide à la décision et une ambition de gestion. Néanmoins l'utilisation de ces systèmes reste souvent limitée à une mise en forme cartographique. Des difficultés supplémentaires apparaissent lorsque le suivi devient pluriannuel. La recherche est alors souvent sollicitée pour apporter une aide méthodologique et produire des éléments d'aide à la décision.

Il n'existe pas actuellement sur le marché d'outils adaptés à l'analyse de systèmes complexes impliquant l'utilisation de plusieurs bases de données géographiques et thématiques. Dans l'attente de tels outils, le système d'information doit être

construit au cas par cas selon les besoins des utilisateurs. L'utilisation du formalisme UML présente de nombreux avantages dans cette phase de construction. Il permet de décrire le système d'information dans ses composantes statiques et dynamiques, de gérer la « traduction » en langage SQL, et de produire une documentation à jour. Les contrôles intégrés au logiciel permettent de détecter les incohérences dans la définition des données et ainsi d'éviter des pertes de temps lors de l'implantation de la base de données. Des difficultés perdurent cependant pour modéliser les dynamiques temporelles et le temps de mise en œuvre reste important. L'implication et la motivation forte des différents partenaires ainsi qu'une structure pour porter le projet restent indispensables pour aboutir à un système opérationnel.

La démarche de construction d'un SIRS en appui au projet LITEAU peut contribuer à faire émerger des outils méthodologiques pour évaluer l'impact des activités humaines sur les milieux littoraux et les stratégies à mettre en œuvre pour y remédier, dans le cadre de projets européens comme ELOISE⁶.

En effet, les modules et la structuration de l'information définis dans ce projet peuvent être réutilisés et enrichis dans le cadre d'autres projets de recherche ou plus finalisés sur la même thématique. Notamment, les éléments du système d'information définis ici en ce qui concerne les relations activités/milieux peuvent contribuer à construire, en incluant d'autres aspects économiques, sociologiques et réglementaires, des systèmes d'information mieux adaptés à la mise en œuvre d'une gestion intégrée des zones côtières. □

Résumé

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de recherche LITEAU, mené conjointement par le Cemagref, l'Ifremer et l'université Bordeaux I, sur l'ensemble des bassins versants amont qui influencent le Bassin d'Arcachon où sont apparues dans les années 90 des proliférations de macroalgues. Ce programme se proposait d'étudier de manière globale les flux d'azote, leur production par les activités du bassin versant amont et leur influence sur l'écosystème de la lagune. En support à ce projet de recherche, une base de données a été constituée pour réaliser des calculs de bilans stock/apport massique (N et P) aux échelles spatiales et temporelles pertinentes, à partir d'un travail d'intégration des connaissances et de la mise en cohérence des données des équipes. Après analyse, définition d'unités fonctionnelles et d'échelles temporelles pertinentes, un modèle des données a été établi en utilisant le formalisme UML (*Unified Modelling Language*) et une maquette réalisée pour tester les requêtes thématiques et spatiales. Cette base de données permet d'aider à confronter les hypothèses de fonctionnement du système (influence des apports en nutriments sur la production primaire dans la lagune) à certaines périodes-clés.

Abstract

This work was carried out in support of LITEAU project (Cemagref, Ifremer, Bordeaux I university) developed with the aim to study the coupling between land-use and coastal lagoon processes in the Arcachon Basin and its catchment area. Macroalgal blooming as a result of eutrophication has been observed during the last twenty years in the area. A spatial information system was designed in order to compute nitrogen mass balances at relevant spatial and time scales. An inventory of existing data was made in various fields: land-use and human activities, climate, soil, hydrology, vegetation... Functional conceptual sub-units were defined in the Arcachon Bay and its catchment area as well as relevant time scales. An UML (Unified Modelling Language) model was built and a database prototype (using ArcView® and Microsoft Access®) designed for setting thematic and spatial queries. This information system linked with hydrological and hydrodynamic models can be helpful to understand changes in the lagoon (primary producers) upon changing nutrient loadings at different key periods.

Bibliographie

AUBY, I. ; MANAUD, F. ; MAURER, D. ; TRUT, G., 1994, *Étude de la prolifération des algues vertes dans le Bassin d’Arcachon*, rapport IFREMER-CEMAGREF-SSA-SABARC (Contrat Syndicat Intercommunal du Bassin d’Arcachon), 16 p.

Cemagref, coordination MIRALLES, A., 2004, *Mise en place de systèmes d’information à références spatiales*, Actes du V^e séminaire REGLIS, Montpellier, 13/14 novembre 2003, 149 p.

DE WIT *et al.*, 2003, *Rapport final du projet de recherche sur le littoral (LITEAU) – Gestion des richesses écologiques et des ressources économiques du Bassin d’Arcachon : limites du pouvoir tampon de la lagune vis-à-vis des apports du bassin versant*.

DE WIT *et al.*, 2005, Relationship between land-use in the agro-forestry system of les Landes, nitrogen loading to and risk of macro-algal blooming in the Bassin d’Arcachon coastal lagoon (SW France) Estuarine, *Coastal and Shelf Science*, volume 62, issue 3, p. 387-557.

HENOCQUE, Y. ; DENIS, J., 1997, *Zonation et qualification de l’espace littoral : un outil méthodologique au service de l’approche intégrée de la zone côtière*, colloque Bordomer Aménagement et protection de l’environnement littoral, p. 69-80.

LEIBREICH, J. ; BEUFFE, H. ; DELMAS, F. ; LAPLANA, R. ; VERNIER, F., 2000, *Programme TERRA ; mise au point d’indicateurs pour l’aide à la décision en matière de gestion des espaces d’influence du Bassin d’Arcachon*, rapport Cemagref Bordeaux, 79 p. + 24 annexes.

MANAUD, F. ; BOUCHET, J.-M. ; DELTREIL, J.-P. ; MAURER, D. ; TRUT, G. ; AUBY, I. ; DRENO, J.-P. ; L’YAVANC, J. ; MASSON, N. ; PELLIER, C., 1997, *Étude intégrée du Bassin d’Arcachon. Tome 1 : Physique ; tome 2 : Qualité de l’eau et des sédiments ; tome 3 : Biologie ; tome 4 : Activités ; tome 5 : Activités ressources vivantes*, rapport interne DEL/Arcachon, 5 classeurs.

PORNON, H., 1996, SIRS et images de l’organisation, *Revue internationale de géomatique*, vol. 6, p. 61-71.

SHEEREN, D., 2002, L’appariement pour la constitution de bases de données géographiques multirésolutions, *Revue internationale de géomatique*, vol. 12, n° 2, p. 151-168.

VERNIER, F. ; BEUFFE, H. ; CHOSSAT, J.-C., 2003, Forêt et ressources en eau : étude de deux bassins versants en sol sableux (Landes de Gascogne), *Revue forestière française*, n° 6, p. 523-542.

VERNIER, F. ; TURPIN, N. ; BIOTEAU, T., 2001, *Méthode de mise en place d’une base de données spatialisée et de cartographie sur un bassin versant agricole*, Cemagref, groupements de Bordeaux et Rennes.